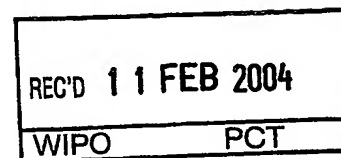


**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 60 738.9

**Anmeldetag:** 23. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Outokumpu Oyj, Espoo/FI

**Bezeichnung:** Verfahren und Anlage zur Förderung von  
feinkörnigen Feststoffen

**IPC:** B 65 G 53/12

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Dzierzon

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## VERFAHREN UND ANLAGE ZUR FÖRDERUNG VON FEINKÖRNIGEN FESTSTOFFEN

### Technisches Gebiet

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen in einem Reaktor mit einer Wirbelschicht sowie eine entsprechende Anlage.

10

15

Derartige Verfahren und Anlagen werden in verschiedenen Anwendungsbereichen für unterschiedliche Gas-Feststoff-Kombinationen eingesetzt. Beispielsweise müssen für die Herstellung von Eisenschwammbricketts reduzierte Eisenerze auf eine Höhe von etwa 50 m gefördert werden, um die Zufuhr und Verteilung auf verschiedene Brikettierpressen zu ermöglichen. Auch für die Direktreduktion von Eisenerzen oder bei der Gasreduktion titanhaltiger Erze werden die erhitzten Ausgangsmaterialien durch die Schwerkraft den Reaktoren zur Verarbeitung zugeführt. Hierzu müssen sie zunächst auf eine beträchtliche Höhe gefördert werden.

25

Üblicherweise erfolgt der Transport von feinkörnigen Feststoffen pneumatisch, d.h. die Feststoffe werden in ein Förderrohr eingebracht und von einer aufwärts gerichteten Gasströmung mitgerissen, so dass der Feststoff am oberen Ende des Förderrohres ausgebracht werden kann. Eine übliche Bauform sieht vor, dass der Querschnitt des Förderrohres unterhalb der Feststoffaufgabestelle venturiförmig eingezogen ist und sich nach oben konisch erweitert. Das gasförmige Fördermedium strömt mit hoher Geschwindigkeit durch den engen Querschnittsbereich, um zu verhindern, dass der Feststoff nach unten in die Gaszufuhrleitung fällt. Die hierbei notwendigen hohe Geschwindigkeiten können zu Erosion oder bei empfindlichen Feststoffen zu Kornzerfall führen. Ein weiterer

30

Nachteil ist, dass bei größeren Durchmessern trotz der hohen Gasgeschwindigkeit Feststoffe entgegen der Gasströmungsrichtung durch den verengten Querschnittsbereich nach unten fallen und die Gaszufuhrleitung verstopfen.

5 Gleichzeitig wird der Feststoff während des Transports in Abhängigkeit des eingesetzten Transportgases, zumeist komprimierte Umgebungsluft, und durch den Kontakt mit den Wänden des Reaktors abgekühlt oder erwärmt. Daher ist vor der Weiterverarbeitung der Feststoffe oftmals eine nachgeschaltete Temperierungsstufe vorzusehen.

10 Weiter sind auch Reaktoren mit einer stationären Wirbelschicht bekannt, in der die Gas- und Feststoffgeschwindigkeiten deutlich geringer sind. Derartige Reaktoren eignen sich jedoch nicht zum Transport von Feststoffen in große Höhen.

15

### Beschreibung der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen zur Verfügung zu stellen, welches einen schonenderen Transport ermöglicht und gleichzeitig den direkten Wärmetausch zwischen dem eintretenden Gas und dem eintretenden Feststoff sicherstellt.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch ein vorzugsweise zentral angeordnetes Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) in einen Wirbelmischkammerbereich des Reaktors eingeführt wird, wobei das Zentralrohr wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht umgeben wird, und bei dem die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für  
30 die Ringwirbelschicht derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen

in dem Zentralrohr zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer zwischen 0,3 und 30 betragen.

Überraschenderweise lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Feststoffe sehr schonend über große Höhenunterschiede transportieren, ohne dass Verstopfungen in der Gaszufuhrleitung auftreten oder die Förderleitung starkem Verschleiß ausgesetzt ist. In der stationären Wirbelschicht wird durch die Zufuhr des Fluidisierungsgases der Feststoff fluidisiert. Beim Passieren des oberen Bereichs des Zentralrohrs reißt das erste Gas bzw. Gasgemisch Feststoff aus dem ringförmigen, stationären Wirbelbett, welches als Ringwirbelschicht bezeichnet wird, bis in die Wirbelmischkammer mit, aus der die Feststoffe dann vertikal nach oben in und durch die Förderleitung gefördert werden. Durch entsprechende Einstellung der Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des Fluidisierungsgases kann die Feststoffbeladung der sich in der Wirbelmischkammer einstellenden Suspension in weiten Bereichen bis zu beispielsweise 30 kg Feststoff pro kg Gas variiert werden. Infolge der Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit des ersten Gases bzw. Gasgemisches nach Verlassen des Zentralrohrs und/oder infolge des Auftreffens auf eine der Reaktorwände kann in der Wirbelmischkammer ein Teil des Feststoffs aus der Suspension aus und in die stationäre Ringwirbelschicht zurückfallen, während der übrige Teil an nicht ausfallendem Feststoff zusammen mit dem ersten Gas bzw. Gasgemisch aus der Wirbelmischkammer ausge-  
tragen wird. Durch diesen Feststoffkreislauf zwischen Ringwirbelschicht und Wirbelmischkammer, die hohe Feststoffbeladung der Suspension in der Wirbelmischkammer und die starken Turbulenzen im Bereich oberhalb des Zentralrohrs ergeben sich ideale Bedingungen für die Wärmeübertragung zwischen Gas und Feststoff, so dass die Temperaturen aller Medien sich bis auf wenige Grad Celsius der theoretischen Mischtemperatur annähern. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt in der Möglichkeit, durch Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des

Fluidisierungsgases den Stoffdurchsatz schnell, einfach und zuverlässig den Anforderungen anzupassen.

Um einen besonders effektiven und gleichzeitig schonenden Transport der Feststoffe in dem Reaktor sicherzustellen, werden die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gasgemisches und des Fluidisierungsgases für die Wirbelschicht vorzugsweise derart eingestellt, dass die dimensionslose Partikel-Froude-Zahlen ( $Fr_p$ ) in dem Zentralrohr 1,15 bis 20, insbesondere etwa 8, in der Ringwirbelschicht 0,115 bis 1,15, insbesondere etwa 0,15, und/oder in der Wirbelmischkammer 0,37 bis 3,7 betragen. Die Förderleitung kann einen kleineren Querschnitt haben als die Wirbelmischkammer, so dass die Partikel-Froude-Zahl in der Förderleitung entsprechend höher ist, vorzugsweise jedoch ebenfalls im Bereich zwischen 0,37 und 3,7. Dabei sind die Partikel-Froude-Zahlen jeweils nach der folgenden Gleichung definiert:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} * d_p * g}}$$

mit

- $u$  = effektive Geschwindigkeit der Gasströmung in m/s  
 $\rho_f$  = effektive Dichte des Fluidisierungsgases in  $\text{kg/m}^3$   
 $\rho_s$  = Dichte eines Feststoffpartikels in  $\text{kg/m}^3$   
 $d_p$  = mittlerer Durchmesser der beim Reaktorbetrieb vorliegenden Partikel des feinkörnigen Reaktorinventars bzw. der sich bildenden Teilchen in m  
 $g$  = Gravitationskonstante in  $\text{m/s}^2$ .

Bei der Anwendung dieser Gleichung gilt zu berücksichtigen, dass  $d_p$  nicht den mittleren Durchmesser ( $d_{50}$ ) des eingesetzten Materials bezeichnet, sondern den mittleren Durchmesser des sich während des Betriebs bildenden Reaktorinventars, welcher von dem mittleren Durchmesser des eingesetzten Materials (Primärteilchen) signifikant in beide Richtungen abweichen kann. Auch aus sehr feinkörnigem Material mit einem mittleren Durchmesser von bspw. 3 bis 10  $\mu\text{m}$  können sich während der Wärmebehandlung (Sekundär-) Teilchen mit einem mittleren Durchmesser von 20 bis 30  $\mu\text{m}$  bilden. Andererseits zerfallen manche Materialien, bspw. Erze, bei der Wärmebehandlung. Als feinkörniges Material werden in der vorliegenden Erfindung Feststoffe mit einem mittleren Sekundärkorn-Durchmesser von etwa 10  $\mu\text{m}$  bis 15  $\mu\text{m}$  bezeichnet.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, z.B. durch die Wahl der Gasgeschwindigkeiten sowie des Verhältnisses zwischen Feststoffmassenstrom und Volumenstrom des ersten Gases oder Gasgemisches den Füllstand an Feststoff in dem Reaktor so einzustellen, dass sich die Ringwirbelschicht insbesondere um einige Millimeter bis Zentimeter über das obere Mündungsende des Zentralrohrs hinaus erstreckt und somit ständig Feststoff in den Strahl des ersten Gases oder Gasgemisches eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Zentralrohres befindlichen Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Auf diese Weise wird eine besonders gute Förderung der Feststoffe in dem Reaktor erreicht.

Für bestimmte Anwendungsfälle hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Feststoffe in dem Reaktor abgekühlt werden. Beispielsweise kann als Feststoff Zement mit einer Temperatur von etwa 600° C eingesetzt werden, der vor der weiteren Behandlung während der Förderung in dem Reaktor auf unter 400° C, insbesondere auf etwa 380° C abgekühlt wird. Ggf. kann auch eine weitere Kühlung der dem Reaktor zugeführten Gase unabhängig von der zugeführten Feststoffmenge notwendig sein, bspw. wenn diese in einem nach-

geschalteten Elektrogasfilter gereinigt werden sollen. Die Abkühlung der Gase kann dann derart erfolgen, dass der Feststoff hierdurch nicht aufgewärmt wird.

5 Eine besonders effektive Kühlung der Feststoffe oder Gase kann in dem Reaktor dadurch erreicht werden, dass das über das Zentralrohr eingetragene Gasgemisch und das Fluidisierungsgas Luft mit einer Temperatur unter 100° C, insbesondere von etwa 50° C ist. Zusätzlich kann zur weiteren Abkühlung der Feststoffe während der Förderung in die Ringwirbelschicht und/oder die Wirbelmischkammer ein flüssiges Kühlmedium eingetragen werden, bspw. Wasser, 10 das beim Kontakt mit dem wärmeren Feststoff vollständig verdampft. Es wurde festgestellt, dass das flüssige Kühlmedium mit einem Rohr auf oder in die Ringwirbelschicht eingebracht werden kann, wo es durch den Kontakt mit dem warmen Feststoff verdampft. In einigen Anwendungsfällen kann es erforderlich sein, das Kühlmedium mittels einer Ein- oder Zweistoffdüse und einem gasförmigen Zerstäubungsmedium, wie Wasserdampf oder Pressluft, beim Einbringen 15 in den Reaktor zu zerstäuben.

Alternativ hierzu ist es für einige Anwendungsfälle erforderlich, dass die Feststoffe in dem Reaktor erwärmt werden. So muss bspw. bei der Reduktion von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mit Wasserstoff oder der Gasreduktion titanhaltiger Erze getrocknetes und unter oxidierender Atmosphäre vorgewärmtes Material mit einer möglichst hohen Temperatur in die Reduktionsstufe eingetragen werden. Auch für die Brikettierung von feinkörnigem Eisenschwamm zu Eisenschwammbriketts ist es erforderlich, die Feststoffe auf eine geeignete Höhe zu fördern, ohne dass der 25 Eisenschwamm dabei abgekühlt wird.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung werden in dem Reaktor feuchte, körnige Feststoffe getrocknet, wobei die hierzu erforderliche Wärme vorzugsweise durch das erste Gas oder Gasgemisch zugeführt wird. Dies ist selbst bei 30 Feststoffen möglich, die im feuchten Zustand nicht fluidisierbar sind. Der feuchte

Feststoff wird dann in der Ringwirbelschicht sofort von bereits getrocknetem, wärmeren Feststoff umgeben, der aus der Wirbelmischkammer ausfällt, so dass der feuchte Feststoff erwärmt und getrocknet wird. Der Feststoff kann dann von dem noch wärmeren Gas oder Gasgemisch des Zentralrohrs unter weiterer Erwärmung mitgerissen werden. Dem Feststoff kann auf diese Weise nicht nur Oberflächenfeuchte sondern auch (unabhängig von einer möglichen Oberflächenfeuchte) Kristallwasser durch Erwärmung entzogen werden.

Hierzu hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dem Reaktor durch das Zentralrohr, in die Ringwirbelschicht und/oder durch Lanzen oder dgl. in die Wirbelmischkammer erwärmtes Gas oder Gasgemische, wie bspw. Wasserstoff oder Abgas mit einer Temperatur von etwa 900° C, zuzuführen. Falls das erste Gas oder Gasgemisch oder das Fluidisierungsgas der Ringwirbelschicht Sauerstoff enthält, kann dem Reaktor zusätzlich auch ein Brennstoff, insbesondere Erdgas, zugeführt werden, um durch eine Innenverbrennung den Temperaturverlust durch Abstrahlung der Reaktorwände und/oder durch die zur Förderung eingesetzten Gase zumindest zu kompensieren, oder um eine Erwärmung des Feststoffes über die theoretische Mischtemperatur zu erzielen. Hierbei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, den Reaktor bei einem Druck von 0.8 bis 10 bar und besonders bevorzugt bei Atmosphärendruck zu betreiben.

Erfindungsgemäß ist es möglich, dem Reaktor mehr als nur einen Feststoffstrom aufzugeben, wobei die unterschiedlichen Feststoffströme auch unterschiedliche Temperaturen haben können. Der Reaktor dient dann gleichzeitig als Mischer, in dem ein Feststoffstrom höherer Temperatur durch einen zweiten Feststoffstrom niedrigerer Temperatur gekühlt werden kann.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird die Ist-Austrittstemperatur des Feststoffes beim Verlassen des Reaktors gemessen. In Abhängigkeit der gemessenen Ist-Austrittstemperatur relativ zu einer Soll-Austrittstemperatur



kann die Zufuhr von kalten oder erwärmten Gasen oder Gasgemischen, einem insbesondere flüssigen Kühlmedium und/oder Brennstoffen variiert werden. Die für die Weiterverarbeitung der Feststoffe optimale Temperatur ist auf diese Weise während des laufenden Betriebs rasch und zuverlässig regelbar.

5

Eine erfindungsgemäße Anlage, welche insbesondere zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens geeignet ist, weist einen als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor zur Förderung von Feststoffen auf, wobei der Reaktor ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht, die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer mitreißt. Vorzugsweise erstreckt sich dieses Gaszuführungssystem bis in die Wirbelmischkammer. Es ist jedoch auch möglich, das Gaszuführungssystem unterhalb der Oberfläche der Ringwirbelschicht enden zu lassen. Das Gas wird dann bspw. über seitliche Öffnungen in die Ringwirbelschicht eingebracht, wobei es aufgrund seiner Strömungsgeschwindigkeit Feststoff aus der Ringwirbelschicht in die Wirbelmischkammer mitreißt.

10

15

25

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Gaszuführungssystem ein sich vom unteren Bereich des Reaktors aus im Wesentlichen vertikal nach oben erstreckendes Zentralrohr auf, welches wenigstens teilweise ringförmig von einer Kammer umgeben ist, in der die stationäre Ringwirbelschicht ausgebildet ist. Die Ringwirbelschicht muss dabei nicht kreisringförmig gestaltet sein, vielmehr sind auch andere Ausgestaltungen der Ringwirbelschicht in Abhängigkeit der Geometrie des Zentralrohres und des Reaktors möglich, solange das Zentralrohr wenigstens teilweise von der Ringwirbelschicht umgeben wird.

30

Selbstverständlich können in dem Reaktor auch zwei oder mehr Zentralrohre vorgesehen sein, die alle unterschiedliche oder gleiche Ausmaße und Formen

aufweisen können, wobei es bevorzugt wird, wenn wenigstens eines der mehreren Zentralrohre, bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors, in etwa mittig angeordnet ist.

5 Ein Abtrennen der Feststoffe von dem zur Förderung eingesetzten Gas oder Gasgemisch vor der Weiterverarbeitung wird ermöglicht, wenn dem Reaktor ein Abscheider nachgeschaltet ist. Hierzu sind bspw. ein Zyklon, ein Heißgas-Elektrofilter, ein Schlauchfilter oder dgl. einsetzbar.

10 Um eine zuverlässige Fluidisierung des Feststoffs und die Ausbildung einer stationären Wirbelschicht zu ermöglichen, ist in der ringförmigen Kammer des Reaktors ein Gasverteiler vorgesehen, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelschichtbereich und eine untere Gasverteilerkammer unterteilt. Die Gasverteilerkammer ist mit einer Zufuhrleitung für Fluidisierungsgas verbunden.  
15 Anstelle der Gasverteilerkammer kann auch ein aus Rohren aufgebauter Gasverteiler verwendet werden.

Zur Einstellung der für die Weiterverarbeitung notwendigen Temperaturen des Feststoffs bzw. des Gases kann der Reaktor eine zu dem Zentralrohr, eine zu der ringförmigen Kammer und/oder eine zu der Wirbelmischkammer führende Zufuhrleitung für Brennstoff oder ein geeignetes flüssiges Kühlmedium, wie Wasser, aufweisen.

25 In der Ringwirbelschicht und/oder der Wirbelmischkammer des Reaktors können erfindungsgemäß Einrichtungen zum Umlenken der Feststoff- und/oder Fluidströme vorgesehen sein. So ist es bspw. möglich, ein ringförmiges Wehr, dessen Durchmesser zwischen dem des Zentralrohrs und dem der Reaktorwand liegt, derart in der Ringwirbelschicht zu positionieren, dass die Oberkante des Wehrs über das sich im Betrieb einstellende Feststoffniveau ragt, während die  
30 Unterkante des Wehrs im Abstand zu dem Gasverteiler oder dgl. angeordnet ist.

5 Feststoffe, die in der Nähe der Reaktorwand aus der Wirbelmischkammer ausregnen, müssen so zunächst das Wehr an dessen Unterkante passieren, bevor sie von der Gasströmung des Zentralrohrs wieder in die Wirbelmischkammer mitgerissen werden können. Auf diese Weise wird ein Feststoffaus-  
tausch in der Ringwirbelschicht erzwungen, so dass sich eine gleichmäßigere Verweilzeit des Feststoffs in der Ringwirbelschicht einstellt.

10 Weiterbildungen, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

### 15 **Kurzbeschreibung der Zeichnungen**

Die einzige Figur zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

### **Detaillierte Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform**

25 Bei dem in der Figur dargestellten Verfahren, welches insbesondere zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen geeignet ist, wird in einen Reaktor 1 über eine Zuführleitung 2 ein Feststoff eingebracht. Der bspw. zylindrische Reaktor 1 weist ein etwa coaxial mit seiner Längsachse angeordnetes Zentralrohr 3 auf, welches sich vom Boden des Reaktors 1 aus im Wesentlichen vertikal nach oben erstreckt.

30 Im Bereich des Bodens des Reaktors 1 ist eine ringförmige Gasverteilerkammer 4 vorgesehen, die nach oben durch einen Durchtrittsöffnungen aufweisenden

Gasverteiler 5 abgeschlossen wird. In die Gasverteilerkammer 4 mündet eine Zuführleitung 6.

5 In dem vertikal oberen Bereich des Reaktors 1, der eine Wirbelmischkammer 7 und eine sich daran anschließende Förderleitung 13 bildet, ist eine Ausbringleitung 8 angeordnet, die in einen in der Figur als Zyklon ausgebildeten Abscheider 9 mündet. Die Förderleitung 13 kann gegenüber der Wirbelmischkammer 7 einen verringerten Querschnitt aufweisen und ist ggf. deutlich länger als die Wirbelmischkammer 7.

10 Wird nun ein Feststoff über die Zuführleitung 2 in den Reaktor 1 eingebracht, bildet sich auf dem Gasverteiler 5 eine das Zentralrohr 3 ringförmig umgebende Schicht aus, die als Ringwirbelschicht 10 bezeichnet wird. Durch die Zuführleitung 6 in die Gasverteilerkammer 4 eingeleitetes Fluidisierungsgas strömt durch  
15 den Gasverteiler 5 und fluidisiert die Ringwirbelschicht 10, so dass sich ein stationäres Wirbelbett ausbildet. Die Geschwindigkeit der dem Reaktor 1 zugeführten Gase wird dabei so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht 10 etwa 0,15 und in der Wirbelmischkammer 7 und der Förderleitung 13 etwa 1,8 oder etwa 3 beträgt.

20 Durch die Zufuhr von weiterem Feststoff in die Ringwirbelschicht 10 steigt das Feststoff-Niveau 11 in dem Reaktor 1 so weit an, dass Feststoff in die Mündung des Zentralrohres 3 gelangt. Durch das Zentralrohr 3 wird gleichzeitig ein Gas oder Gasgemisch in den Reaktor 1 eingeleitet. Die Geschwindigkeit des dem  
25 Reaktor 1 zugeführten Gases wird vorzugsweise so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Zentralrohr 3 etwa 8 beträgt. Aufgrund dieser hohen Gasgeschwindigkeiten reißt das durch das Zentralrohr strömende Gas beim Passieren des oberen Mündungsbereichs Feststoff aus der stationären Ringwirbelschicht 10 in die Wirbelmischkammer 7 mit.

Durch die Überhöhung des Niveaus 11 der Ringwirbelschicht 10 gegenüber der Oberkante des Zentralrohres 3 läuft Feststoff über diese Kante in das Zentralrohr 3 über, wodurch sich eine intensiv durchmischte Suspension ausbildet. Die Oberkante des Zentralrohres 3 kann hierbei gerade, gewellt oder gezackt sein oder das Zentralrohr 3 kann seitliche Eintrittsöffnungen aufweisen. Infolge der Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Expansion des Gasstrahls und/oder durch Auftreffen auf eine der Reaktorwände verlieren die mitgerissenen Feststoffe rasch an Geschwindigkeit und fallen teilweise wieder in die Ringwirbelschicht 10 zurück. Der Anteil an nicht ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem Gasstrom über die Förderleitung 13 und die Leitung 8 aus dem Reaktor 1 ausgetragen. Dabei stellt sich zwischen den Reaktorbereichen der stationären Ringwirbelschicht 10 und der Wirbelmischkammer 7 eine Feststoffkreislaufströmung ein, durch welche ein guter Wärmeaustausch gewährleistet wird. Vor der Weiterverarbeitung wird der über die Leitung 8 ausgetragene Feststoff in dem Zyklon 9 von den Gasen oder Gasgemischen abgeschieden.

Zur Erwärmung der in dem Reaktor 1 geförderten Feststoffe können die dem Zentralrohr 3 und/oder der Gasverteilerkammer 4 zugeleiteten Gase oder Gasgemische vorgewärmt sein. Zusätzlich kann in das Zentralrohr 3, in die Gasverteilerkammer 4 und/oder über eine Lanzenanordnung oder dgl., wie in der Figur durch Bezugszeichen 12 angedeutet, in die Ringwirbelschicht 10 oder die Wirbelmischkammer 7 ein Brennstoff zugeführt werden, der durch Innenverbrennung in dem Reaktor 1 eine gleichmäßige Erwärmung der Feststoffe ohne lokale Temperaturspitzen ermöglicht.

Alternativ können zur Abkühlung der in dem Reaktor 1 geförderten Feststoffe dem Zentralrohr 3 und/oder der Gasverteilerkammer 4 kalte Gase oder Gasgemische zugeführt werden. Der Begriff "kalt" ist dabei relativ zu der Temperatur der Feststoffe zu verstehen, wobei der gewünschte Kühleffekt erzielt werden soll. Zusätzlich kann in das Zentralrohr 3, in die Gasverteilerkammer 4 und/oder

über die Lanzenanordnung 12 oder dgl. ein Kühlmedium, wie Wasser oder dgl., zugeführt werden, das die Temperatur der in dem Reaktor 1 geförderten Feststoffe weiter reduziert.

5 Durch eine Regelungseinrichtung kann die Temperatur der den Reaktor 1 verlassenden Feststoffe gezielt variiert werden. Hierzu wird die Ist-Austrittstemperatur der Feststoffe bspw. in der Leitung 8 gemessen und in Abhängigkeit einer einstellbaren Soll-Austrittstemperatur werden dann die Zufuhr von Brennstoff oder Kühlmedium in den Reaktor 1 gesteuert.

10

Im folgenden wird die Erfindung anhand von drei den Erfindungsgedanken demonstrierenden, diesen jedoch nicht einschränkenden Beispielen erläutert.

15 **Beispiel 1 (Förderung von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oder titanhaltigen Erzen mit Wärmetausch bei oxidierenden Bedingungen)**

In einer der Figur entsprechenden Anlage wurde dem Reaktor 1 65,7 t/h  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mit einer Temperatur von 985° C zur Förderung und ggf. Trocknung unter oxidierender Atmosphäre zugeführt. Ferner wurden dem Reaktor 1 über Leitung 6 1000 Nm<sup>3</sup>/h und über das Zentralrohr 3 12.300 Nm<sup>3</sup>/h Luft mit einer Temperatur von 50° C als Transportmittel zugeleitet, der in dem Zentralrohr 3 unmittelbar vor Eintritt in die Ringwirbelschicht 10 als Brennstoff 532 Nm<sup>3</sup>/h Erdgas beigemischt war. Über Leitung 8 wurden dem Reaktor 65,7 t/h  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mit einer Temperatur von 1000° C entnommen.

25

Die strömungsmechanischen Bedingungen in der Wirbelmischkammer 7 mit einer Partikel-Froude-Zahl von etwa 3 erlaubten eine Innenverbrennung des Erdgases ohne Temperaturspitzen. Auf diese Weise wurde statt eines Temperaturverlustes in dem Reaktor 1 infolge von Abstrahlung der Reaktorwände und

der Vermischung des Feststoffes mit kalter Transportluft sogar eine Erhöhung der Feststofftemperatur in der Leitung 8 um 15° C erreicht.

5      Dadurch war es möglich, die Temperatur der für die Fluidisierung des Feststoffes in einer nachgeschalteten Reduktionsstufe verwendeten Reduktionsgase unterhalb der für die technische Ausführbarkeit kritischen Grenze von 1000° C zu halten. Der Feststoff wurde dabei in dem Reaktor 1 auf eine Höhe von etwa 46 m gefördert.

10     In gleicher Weise war eine Förderung titanhaltiger Erze bei gleichzeitiger Trocknung unter oxidierenden Bedingungen möglich. Hierbei wurde zusätzlich über eine Lanzenanordnung 12 oberhalb der Ringwirbelschicht 10, d.h. direkt in die Wirbelmischkammer 7, Erdgas zur Innenverbrennung in den Reaktor 1 eingebracht.

15     Die Gasgeschwindigkeiten wurden dabei so gewählt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in der Ringwirbelschicht 10 etwa 0,15 und in dem Zentralrohr 3 bei etwa 8 lagen.

## **Beispiel 2                    (Förderung und Erwärmung von Eisenschwamm)**

In einer der Figur entsprechenden Anlage wurden dem Reaktor 1 über die Zuführleitung 2 68 t/h feinkörniger Eisenschwamm mit einer Temperatur von etwa 650° C zugeführt.

25     Dem Reaktor 1 wurden über das Zentralrohr 3 6.250 Nm<sup>3</sup>/h Wasserstoff und über die Gasverteilerkammer 4 weitere 750 Nm<sup>3</sup>/h Wasserstoff jeweils mit einer Temperatur von 900° C aus einer vorgeschalteten Reduktionsstufe für Eisenerz zugeleitet. Die Gasgeschwindigkeiten wurden dabei so gewählt, dass die  
30     Partikel-Froude-Zahlen in der Ringwirbelschicht 10 etwa 0,15, in der Wirbel-

mischkammer 7 bei etwa 1,8 und in dem Zentralrohr 3 bei etwa 8 lagen.

Auf diese Weise konnte feinkörniger Eisenschwamm in dem Reaktor 1 auf eine Höhe von etwa 50 m gefördert und gleichzeitig auf die für die nachgeschaltete Brikettierung zu Eisenschwammbricketts in Pressen erforderliche Temperatur erwärmt werden.

### **Beispiel 3                    (Förderung und Kühlung von Zement)**

In einer der Figur entsprechenden Anlage wurden dem Reaktor 1 über die Zuführleitung 2 68 t/h feinkörniger Zement mit einer Temperatur von etwa 600° C zugeführt.

Dem Reaktor 1 wurden weiter über das Zentralrohr 3 40.000 Nm<sup>3</sup>/h Luft als Fördermittel und über die Gasverteilerkammer 4 weitere 750 Nm<sup>3</sup>/h Luft zur Fluidisierung jeweils mit einer Temperatur von 50° C zugeleitet. Die Gasgeschwindigkeiten wurden dabei so gewählt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in der Ringwirbelschicht 10 etwa 0,15, in der Wirbelmischkammer 7 bei etwa 1,8 und in dem Zentralrohr 3 bei etwa 8 lagen. In der Förderstrecke stellte sich eine Temperatur von 510° C ein.

Zusätzlich wurden dem Reaktor 1 über die Lanzenanordnung 12 2.600 kg/h Wasser mit einer Temperatur von etwa 20° C zugeführt. Auf diese Weise konnte die für die nachgeschaltete Entstaubung in einem Heißgas-Elektrofilter gewünschte Temperatur von 380° C des Zements am Ende der Förderstrecke, d.h. in der Leitung 8 erreicht werden.



**Bezugszeichenliste:**

5	1	Reaktor
	2	Zuführleitung für Feststoffe
	3	Zentralrohr (Gaszufuhrrohr)
	4	Gasverteilerkammer
	5	Gasverteiler
10	6	Zuführleitung für Fluidisierungsgas
	7	Wirbelmischkammer
	8	Leitung
	9	Abscheider (Zyklon)
	10	(stationäre) Ringwirbelschicht
15	11	Niveau der Ringwirbelschicht 10
	12	Lanzenanordnung
	13	Förderleitung

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen in einem Reaktor (1) mit Wirbelschicht, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch ein Gaszufuhrrohr (3) in eine Wirbelmischkammer (7) des Reaktors (1) eingeführt wird, wobei das Gaszufuhrrohr (3) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (10) umgeben wird, und dass die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (10) derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszufuhrrohr (3) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,3 und 30 betragen.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Gaszufuhrrohr (3) zwischen 1,15 und 20, insbesondere etwa 8, beträgt.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,115 und 1,15, insbesondere etwa 0,15, beträgt.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,37 und 3,7, insbesondere etwa 1,8 oder etwa 3, beträgt.
- 30 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Füllstand an Feststoff in dem Reaktor (1) so eingestellt

wird, dass sich die Ringwirbelschicht (10) über das obere Mündungsende des Gaszufuhrrohr (3) hinaus erstreckt und dass ständig Feststoff in das erste Gas oder Gasgemisch eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Gaszufuhrrohr (3) befindlichen Wirbelmischkammer (7) mitgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Stoffe, insbesondere erwärmte Feststoffe, wie z.B. Zement, in dem Reaktor (1) während der Förderung abgekühlt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein in den Reaktor (1) eingebrachtes Gas oder Gasgemisch abgekühlt wird, insbesondere ohne dabei den Feststoff zu erwärmen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das über das Gaszufuhrrohr (3) eingetragene Gasgemisch und/oder das Fluidisierungsgas Luft mit einer Temperatur unter 100° C, insbesondere von etwa 50° C ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in die Ringwirbelschicht (10) und/oder die Wirbelmischkammer (7) ein Kühlmedium, wie Wasser, eingetragen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Feststoffe in dem Reaktor (1) erwärmt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Feststoffe titanhaltige Erze, Eisenoxid oder weitere Metalloxide enthaltende Feststoffe eingesetzt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) durch das Gaszufuhrrohr (3), in die Ringwirbelschicht (10) und/oder durch Lanzen (12) oder dgl. in die Wirbelmischkammer (7) erwärmtes Gas, bspw. Wasserstoff oder Abgas mit einer Temperatur von etwa 900° C, zugeführt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) durch das Gaszufuhrrohr (3), in die Ringwirbelschicht (10) und/oder durch Lanzen (12) oder dgl. in die Wirbelmischkammer (7) ein Brennstoff, insbesondere Erdgas, zugeführt wird und dass der Druck in dem Reaktor (1) zwischen 0,8 und 10 bar beträgt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ist-Austrittstemperatur des Feststoffes aus dem Reaktor (1) gemessen wird, und dass in Abhängigkeit der gemessenen Ist-Austrittstemperatur relativ zu einer Soll-Austrittstemperatur die Zufuhr von kalten oder erwärmten Gasen oder Gasgemischen, einem Kühlmedium und/oder Brennstoffen variiert wird.

15. Anlage zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, mit einem als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (1) ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht (10), die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer (7) mitreißt.

16. Anlage nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszuführungssystem wenigstens ein sich vom unteren Bereich des Reaktors (1) aus im Wesentlichen vertikal nach oben bis in eine Wirbelmischkammer (7) des

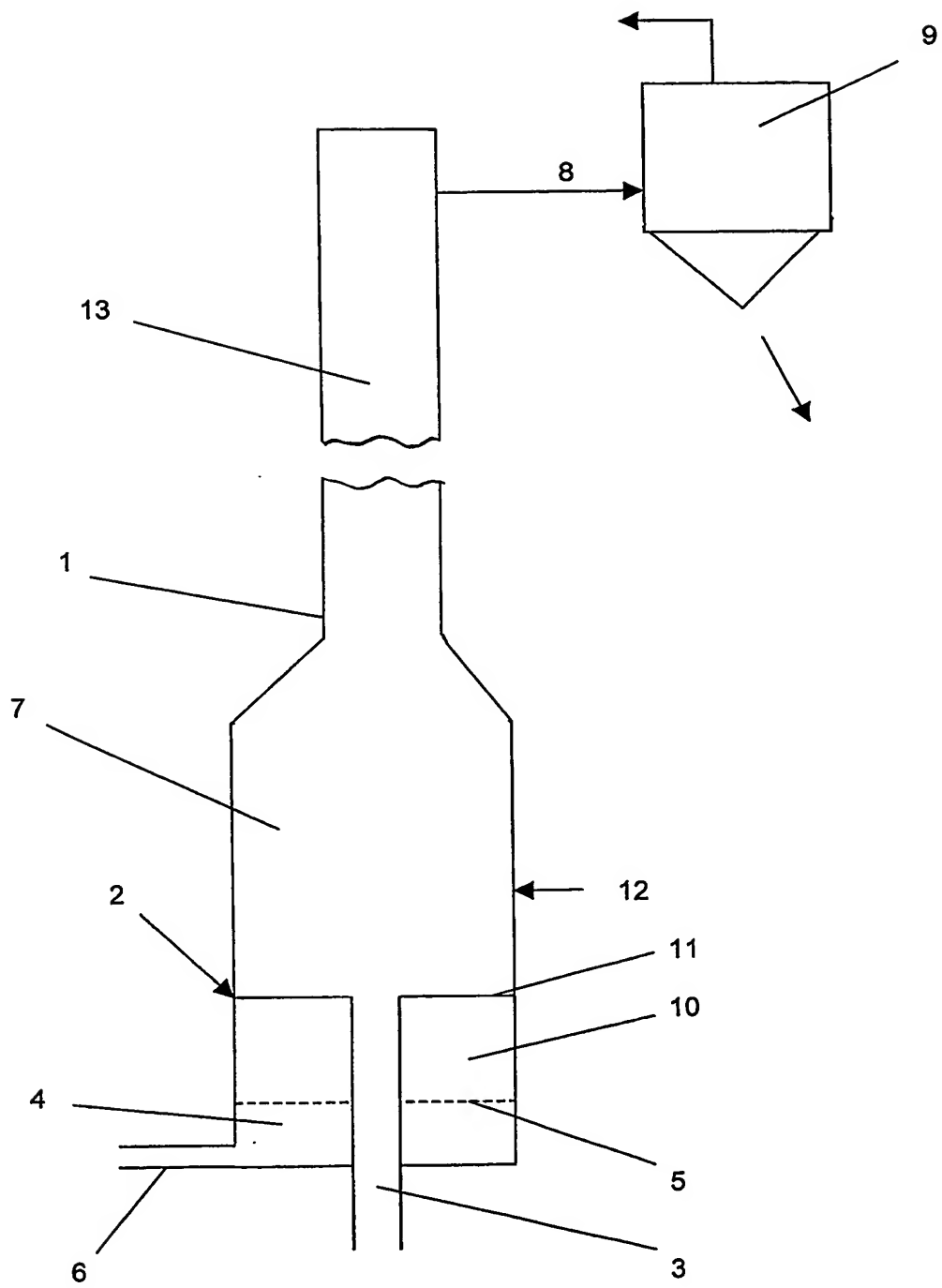
Reaktors (1) erstreckendes Gaszufuhrrohr (3) aufweist, wobei das Gaszufuhrrohr (3) wenigstens teilweise von einer ringförmigen Kammer, in der die stationäre Ringwirbelschicht (10) ausgebildet ist, umgeben ist.

5 17. Anlage nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszufuhrrohr (3), bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors (1), in etwa mittig angeordnet ist.

10 18. Anlage nach einem der Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) ein Abscheider, insbesondere ein Zyklon (9), ein Heißgas-Elektrofilter oder ein Schlauchfilter, zur Abtrennung von Feststoffen nachgeschaltet ist.

15 19. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der ringförmigen Kammer des Reaktors (1) ein Gasverteiler (5) vorgesehen ist, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelschichtbereich (10) und eine untere Gasverteilerkammer (4) unterteilt, und dass die Gasverteilerkammer (4) mit einer Zufuhrleitung (6) für Fluidisierungsgas verbunden ist.

20. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (1) wenigstens eine zu dem Gaszufuhrrohr (3) und/oder wenigstens eine zu der ringförmigen Kammer führende Zufuhrleitung (6) für Brennstoff und/oder ein Kühlmedium aufweist.



Outokumpu Oyj  
Riihitontuntie 7

02200 Espoo  
Finnland

Zusammenfassung:

### **Verfahren und Anlage zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Förderung von feinkörnigen Feststoffen in einem Reaktor mit einer Wirbelschicht sowie eine entsprechende Anlage. Es wird vorgeschlagen, ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch ein Zentralrohr (3) in eine Wirbelmischkammer (7) des Reaktors (1) einzuführen, wobei das Zentralrohr (3) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (10) umgeben wird. Die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (10) werden derart eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Zentralrohr (3) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,02 und 2 und in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,3 und 30 betragen.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**